



清华大学

Tsinghua University

城市能源系统节能

夏建军

清华大学建筑节能研究中心

2018年6月



主要内容

- 背景
- 新区能源系统建设的理念和目标
- 建立合理的能源和碳排放指标体系
- 新区能源系统技术路线
- 总结



一、背景—新型城镇化

- 我国正处于经济转型升级、加快推进社会主义现代化的重要时期，也处于城镇化深入发展的关键时期。
- 2014年3月，中共中央、国务院印发《国家新型城镇化规划（2014—2020年）》



- 《规划》指出：城镇化是现代化的必由之路，是保持经济持续健康发展的强大引擎，是加快产业结构转型升级的重要抓手，是解决农业农村农民问题的重要途径，是推动区域协调发展的有力支撑，是促进社会全面进步的必然要求。



一、背景—新型城镇化

新型城镇化重点转变

- 新型城镇化的重点从过去大规模城市建设转变到**新区的开发建设**。
- 2014年至今，已有13个国家级新区成立。
- 各省市规划建设了地方新区，例如北京通州副中心、北京丽泽商务区、石家庄正定新区、深圳前海合作区、珠海横琴新区等。

序号	新区名称	批获时间	主体城市
1	浦东新区	1992年10月11日	上海
2	滨海新区	2006年5月26日	天津
3	两江新区	2010年5月5日	重庆
4	舟山群岛新区	2011年6月30日	浙江舟山
5	兰州新区	2012年8月20日	甘肃兰州
6	南沙新区	2012年9月6日	广东广州
7	西咸新区	2014年1月6日	陕西西安、咸阳
8	贵安新区	2014年1月6日	贵州贵阳、安顺
9	西海岸新区	2014年6月3日	山东青岛
10	金普新区	2014年6月23日	辽宁大连
11	天府新区	2014年10月2日	四川成都、眉山
12	湘江新区	2015年4月8日	湖南长沙
13	江北新区	2015年6月27日	江苏南京
14	福州新区	2015年8月30日	福建福州
15	滇中新区	2015年9月7日	云南昆明
16	哈尔滨新区	2015年12月16日	黑龙江哈尔滨
17	长春新区	2016年2月3日	吉林长春
18	赣江新区	2016年6月14日	江西南昌、九江
19	雄安新区	2017年4月1日	河北保定



一、背景—新区建设

新区承载“先行先试”的使命

- 新区承载着“先行先试”的重大使命，承担着**创新制度、探索发展模式、带动区域发展**的重大责任，指引中国未来城市的发展方向。
- 针对能源和环境问题，新区必须**先导示范出一条低碳发展、绿色发展的路径**。新区能源系统建设还**承担着对我国城镇未来低碳和绿色发展的实验和示范作用**。

规划建设雄安新区要突出七个方面的重点任务

建设绿色智慧新城，建成国际一流、绿色、现代、智慧城市

打造优美生态环境，构建蓝绿交织、清新明亮、水城共融的生态城市

发展高端高新产业，积极吸纳和集聚创新要素资源，培育新动能

提供优质公共服务，建设优质公共设施，创建城市管理新样板

构建快捷高效交通网，打造绿色交通体系

推进体制机制改革，发挥市场在资源配置中的决定性作用和更好发挥政府作用，激发市场活力

扩大全方位对外开放，打造扩大开放新高地和对外合作新平台





区域能源发展趋势

- 中国能源消费总量巨大，2015年已接近45亿吨标煤，未来还将持续增长；能源结构中煤炭占比超过60%，可再生能源和天然气的比例不足20%。
- 根据IEA预测，为达到2K目标，我国能源消耗总量约在2030年达峰，随后煤炭等化石能源所占比例大幅削减，风、光、核等可再生能源大幅增长。



- 2030年中国碳排放达峰
- 2030年欧洲一次能源非化石能源占比高于50%
- 2050年全球人均碳排放量不高于2吨/（人·年）



- 从低碳发展和环境治理需要出发，我国能源系统面临“供给侧和消费侧的革命”；
- 城市能源系统新的建设就必须对这场变革做出充分的示范。





一、背景—我国能源系统面临的挑战

城市发展面临的能源与环境问题

- 环节气候变化与实现低碳发展
- 治理雾霾与打赢蓝天保卫战
- 实现能源结构调整
- 实现中央提出的能源供给侧和消费侧革命

四大挑战：

- **挑战1：** 电力领域，如何提高可再生电能比例，解决“弃风”、“弃光”比例，降低碳排放量。
- **挑战2：** 供热领域，如何降低供暖耗煤量，用清洁热源替代燃煤锅炉，打好蓝天保卫战。
- **挑战3：** 供燃气领域，如何缩小天然气利用的冬夏峰谷差。
- **挑战4：** 农村，如何在农村等核心城市临近区域有效、清洁、经济地利用好生物质能源。

新区用能需要在用能发展的前提下，在这四个方面有所突破，为解决中国能源问题，探索出一条新的可行的途径！



二、新区能源建设的理念和目标

- 五大发展理念：创新、协调、绿色、开放、共享。

创新

围绕解决目前能源系统面临的四大突出问题，在**技术和政策示范**上有所**创新和突破**

协调

摒弃传统能源系统规划和建设“各自为战”的格局，改变“重供给，轻需求”的思路，力争做到**各类能源相互协调、能源供需相互协调**

绿色

从**低碳和清洁**两个角度，有效降低化石能源特别是煤炭的消费比重，合理利用天然气，**着重提高可再生能源消费比重**，大幅降低二氧化碳排放强度和污染物排放水平

开放

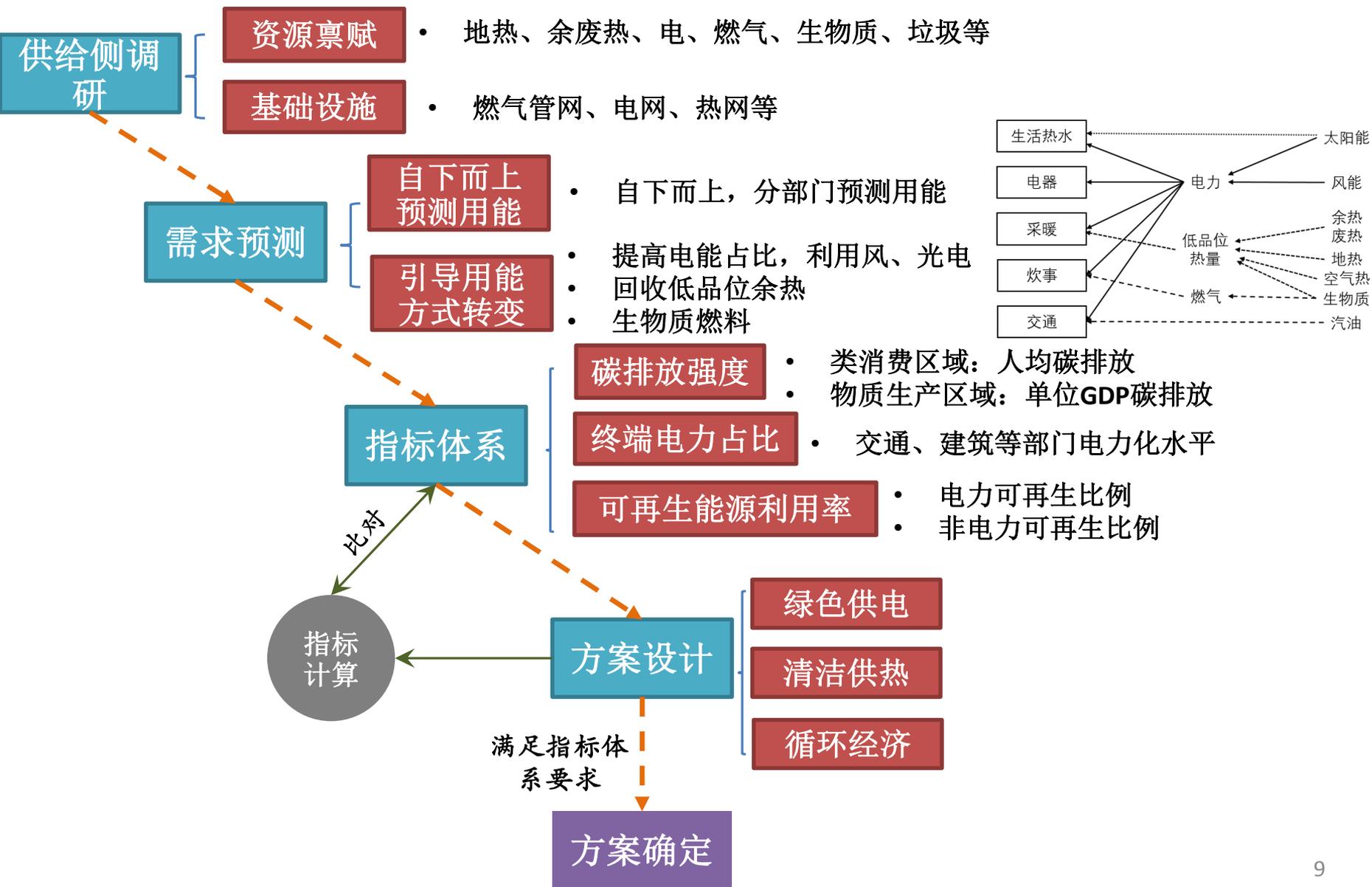
以合理的能源指标体系为目标向导，**在满足能源指标体系的前提下**，**开放包容**的利用各类可行技术，形成**技术集成和示范**

共享

加强新区与周边地区能源系统的联系，构建**多能互补**的能源供应体系，**打破牺牲周边区域利益而重点保证新区的传统模式**

要以新区能源系统为例，系统地示范中国未来城市新的能源系统供给与消费模式

城市能源系统建设技术路线





二、新区能源建设的理念和目标

对“国际标准”和“高点定位”的理解



新区规划和建设要坚持“世界眼光，国际标准，中国特色，高点定位”。

国际标准 \neq 盲目学习发达国家的生活方式

国际标准 = 与国际上能源界和环保界的主流观点保持一致，追求节能、低碳、绿色、减排、追求环境友好

高点定位 \neq 奢侈享受“高质量”生活品质

高点定位 = 一步到位建设符合“能源供给与消费革命”战略部署的能源系统，避免“先污染后治理”，避免重复投资

节约优先，降低能源需求，实现能源总量和强度双控



二、新区能源建设的理念和目标

- 新区交通
 - 不盲目追求过高的私家车比例，
 - 大力提倡步行、骑车、公交等绿色低碳出行方式。
- 新区建筑
 - 人均建筑面积不宜过大，杜绝“房屋空置”现象；
 - 提倡合理用能习惯，杜绝“全时间”“全空间”这样费能的建筑运行模式；
 - “不要搞奇奇怪怪的建筑”，新区建筑符合地方特色、民族特色和传统文化特色



指标体系的作用和包括的内容

- 指标体系是新区能源系统规划设计的基本约束条件。
- 在满足该体系各类指标约束的前提下，再尝试利用各类可行技术，通过技术集成实现这些指标。
- 围绕“绿色低碳发展”的目标，基本约束指标是**1. 碳排放指标**和**2. 能耗总量指标**。
- 低碳或零碳能源（风电、光电、水电、核电）都是以电力为最终的能源模式，所以实现低碳能源应加大**3. 电能占终端能源消费的比例**，并提高**4. 可再生电力占总电力供应的比例**。
- 再提高**5. 终端非电能源中的可再生能源比例**，就能较全面的规定未来低碳绿色发展目标。



三、建立合理的能源和碳排放指标和评价体系

➤ 能耗核算的目的是准确评价终端能源消费量的多少

➤ 当前的能源核算方法十分混乱

- 没有统一的核算方法标准
- 能源品位不分，燃料、电、热直接求和
- 计算边界不清晰，考虑供热量却不考虑供冷量

➤ 导致的问题

- 误导技术

例如，对比电锅炉和电热泵两种技术，如果电力来自于外部风电，那么按照现行核算方法得到的两种技术的终端能耗是一样的，尽管电热泵的能效远高于电锅炉，但是终端能耗量会误导人们对技术的认识。

- 责任不清

火电机组发出1份电需要消耗3份煤，对于进口城市而言，其能耗只核算1份电力的当量热值，而对于出口城市则需要承担剩余2份热值的责任，当前核算方法对于进口消费型城市和出口生产型城市是不公平的。



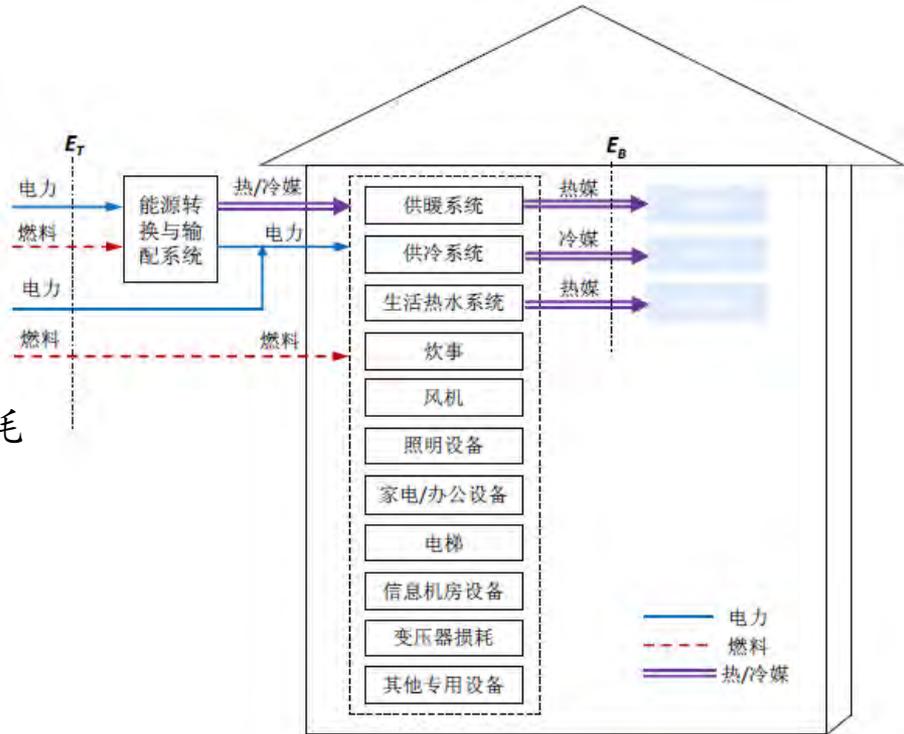
三、建立合理的能源和碳排放指标和评价体系

➤ 能源核算方法的基本要求

- 考虑能源品位差异
- 计算简单、清晰

➤ 改进建议

- 参考GB/T 34913-2017《民用建筑能耗分类及表示方法》
- 能源消费只分电力和燃料两类，分别统计核算
- 冷、热折算为电力或燃料
 - ✓ 对于热泵或制冷机这类单能源输出的系统，可以按照转换效率折算
 - ✓ 对于热电联产这类多能源输出的系统，采用火用分摊法折算
 - ✓ 热/冷供应半径小，易于追溯





三、建立合理的能源和碳排放指标体系

指标数值确定：人均能源消耗

- 不宜将所有能源合并统计，拆分为电能消耗（kWh）和燃料消耗（GJ或tce），把制造业和类消费领域分开。
- 人均电耗：
 - 我国2017年人均4500kWh/人，未来大幅提高终端电力比例，人均电耗会有显著提高。
 - 德国6800kWh/人，日本8300kWh/人，两国均为工业大国，工业用电巨大，且居民用电偏高（用电习惯因素）。
 - 横向对比，并充分考虑我国产业结构调整方向以及居民生活用电习惯，**未来人均电耗在6000~7000kWh/人较合理。**
- 人均燃料消耗：
 - 我国2017年人均3tce/人，除去人均电耗1.4tce/人，剩余1.6tce/人用于工业、交通和居民生活等。
 - 除去工业60%，交通和居民生活燃料约为0.6tce/人。
 - 人均电耗大幅增加，电动车取代燃油车，电炊事替代燃煤炊事，人均燃料消耗还能降低30%，达到**0.4~0.5tce/人。**



三、建立合理的能源和碳排放指标体系

指标数值确定：人均碳排放

- 新区主要的能源消耗和碳排放都是由类消费领域（包括客运交通部门和建筑运行部门）产生的，因此采用“人均碳排放”指标。
- 当前，中国人均碳排放 $6\sim 7\text{tCO}_2/(\text{人}\cdot\text{年})$ ，与欧盟水平相当，略低于日本的 $10\text{tCO}_2/(\text{人}\cdot\text{年})$ ，远低于美国的近 $20\text{tCO}_2/(\text{人}\cdot\text{年})$ 。
- 研究表明，为了达到《巴黎协定》2K目标，我国将在2025年前实现能源活动的 CO_2 排放峰值，在90亿t以下。之后迅速下降，至2050年时碳排放量比峰值减少65%左右，即 $30\sim 35$ 亿t水平，对应到14亿人口，人均碳排放不超过 $2.5\text{tCO}_2/(\text{人}\cdot\text{年})$ 。该指标包含了工业生产和对外交通的碳排放，估计占总排放量的30%~35%，刨除后上限为 **$1.5\text{tCO}_2/(\text{人}\cdot\text{年})$** 。
- 横向对比世界先进城市，确定我国新区合理的人均碳排放应该在 **$1.0\sim 1.5\text{tCO}_2/(\text{人}\cdot\text{年})$ （不包括新区内的制造业）**

国家或城市	目前水平 $\text{tCO}_2/(\text{人}\cdot\text{年})$	2050年规划 $\text{tCO}_2/(\text{人}\cdot\text{年})$
英国 伦敦	4.7	0.8
德国 柏林	5.8	1.7
日本 东京	5.2	1.3



三、建立合理的能源和碳排放指标体系

指标数值确定：电能占终端能源消费比例

- 我国目前电能在终端能耗中的占比为21%，发改委在《电力发展“十三五”规划》中提出，2020年该指标要达到27%。
- 世界上该指标数值最高的瑞典，现状指标为33%。
- 新区建设具有一定的前瞻性，通过引导终端用能方式向电能转变，该数值应达到50%。

提高电能占终端能源消费的比重，应以高效用电为前提。除极严寒地区外，不适宜采用电直热方式进行集中供暖，而应采用各类分散电热泵。



指标数值确定：可再生能源比例

- 世界各国已经提出可再生能源比例的目标
 - 中国，2030年不低于20%
 - 欧盟，2030年27%
 - 瑞典、芬兰、德国，2050年不低于50%
 - 丹麦，2050年100%
- 从电力和非电力（燃料和低品位热量）两方面，分别约束可再生能源比例。
- 至2050年，电能中可再生能源比例应达到50%，非电能中可再生能源比例也应达到50%。

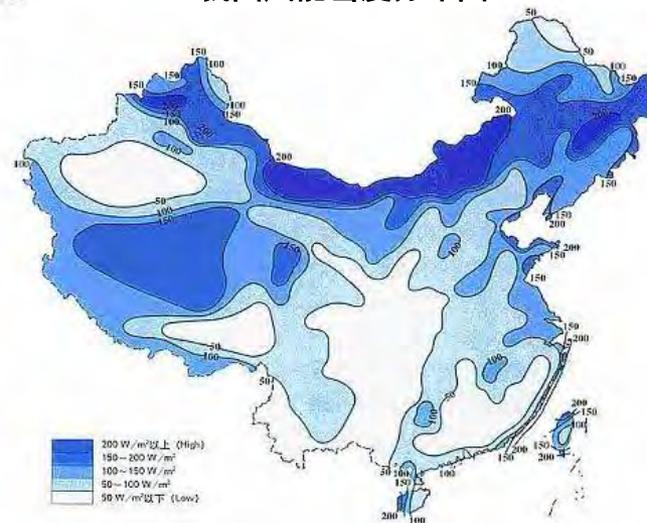


四、新区能源系统技术路线——电

我国电力资源与负荷分布情况

- 可再生电力资源集中在胡焕庸线以外
 - 内蒙、三北的陆上风电
 - 西南的水电
 - 西北的光电，同时西北还有丰富的煤炭和天然气资源
- 而主要用电负荷位于东、中部地区

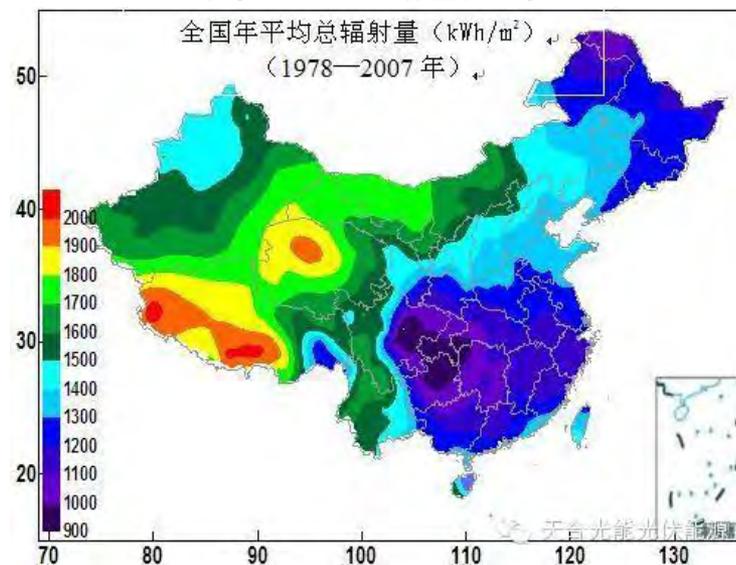
我国风能密度分布图



我国水能资源分布图



我国太阳总辐射量分布图





四、新区能源系统技术路线——电

地域差异化的城市电力调峰模式

西北地区：风光火互补

西北地区不仅是风光电的生产基地，还是煤炭和天然气的生产基地，应该利用燃煤电厂和燃气电厂为风光电调峰，实现多能互补

西南地区：抽水蓄能

西南地区是水电的主要生产基地，发展抽水蓄能电站，完全可以解决当地电网和长距离输电线路的调峰需要



东北、华北、蒙东：热电协同
北方地区冬季有巨大的供热需求，而热电矛盾又是当下该地区弃风的最主要矛盾。发展热电协同模式，实现热电解耦，同时利用供热系统的蓄热能力帮助电力调峰，是该地区未来的重要发展模式

东中部地区：需求侧调峰

东中部地区发达城市云集，是未来主要的受电地区。由于资源禀赋和工业西迁，没有充足的调峰电厂。因此，一方面在供给侧应该合理发展天然气调峰机组；另一方面发展电动汽车、公建蓄冷/蓄热系统、直流建筑及分布式蓄电等，并充分利用它们作为需求侧调峰的手段。



四、新区能源系统技术路线——电

东部城市的电力调峰尤其重要

东部城市之间的能源消费模式也有很大差异，应该根据当地特点科学规划城市的电力调峰模式：

- 北方地区热电联产应该发展热电协同
- 北方地区“煤改电”应该发展有智能调峰功能的空气源热泵
- 电动汽车充电桩的智能调峰
- 直流建筑与分布式蓄电池调峰
- 公共建筑的蓄冷/蓄热调峰
- 。。。

热源紧缺是北方城市供热系统面临的主要难题

➤ 北方城镇供热现状及发展趋势

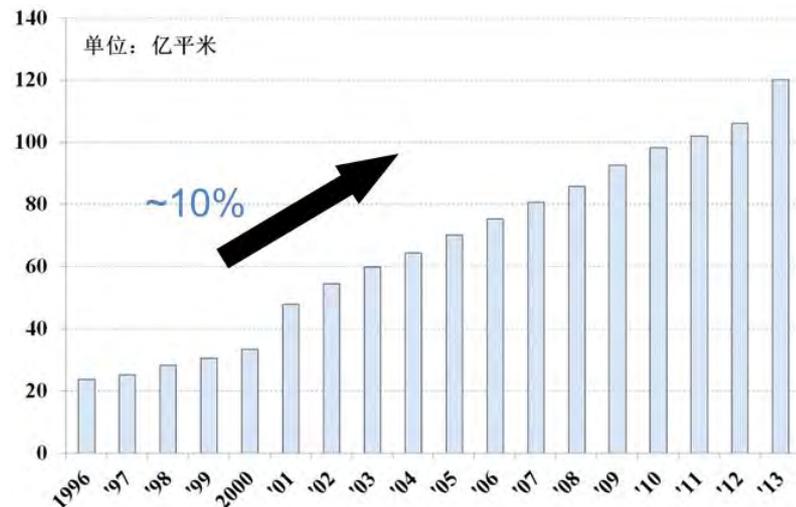
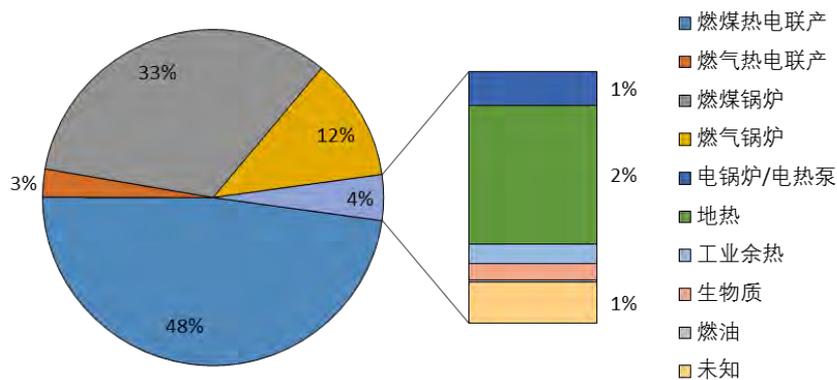
- 供暖面积持续增长，2015年为131亿平米，预计2030年增长到200亿平米
- 供热能耗持续降低，2015年总能耗1.9亿tce，能耗强度14.5kgce/m²

➤ 城市供热系统面临的挑战

- 近期，城镇化带动供热需求增长，清洁供暖推动燃煤锅炉替代，北方城市普遍面临热源紧缺问题
- 远期，为了满足全社会能耗和碳排放的总量控制目标，北方城镇供暖总能耗必须控制在1.4亿吨标煤以下，能耗强度要在现在的基础上降低一半！

➤ 解决途径：开源、节流

2016年北方地区各类热源供热面积比例

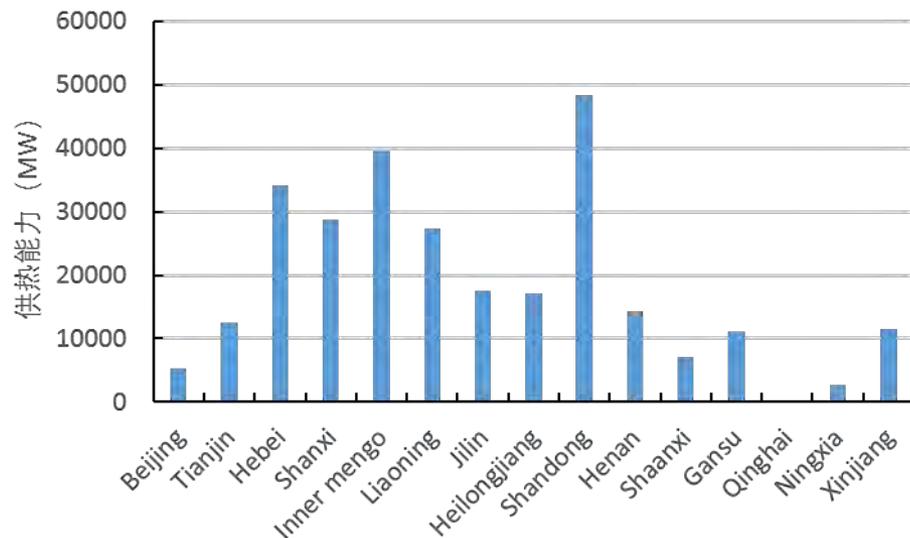


电厂余热和工业余热是潜力巨大的清洁热源

电厂和工业余热的供热潜力能够承担未来城镇集中供热负荷峰值的71%:

- 2014年在运热电机组的供热潜力：27.7万MW（含乏汽余热回收）
- 2012年五大高能耗工业企业的供热潜力：29.4万MW（按120天把总量平均）
- 还未考虑纯凝机组的供热潜力（纯凝火电及核电）
- 未来北方城镇建筑面积控制在200亿平米，峰值负荷80万MW（热指标取40W/平米）

2014年在运热电机组供热潜力



2012五大类工业部门余热供热潜力

采暖季 1.04亿tce	低品位余热： 3.13亿tce	2012年
北方五大类工业部门能耗： 7.38亿吨标煤		
五大类工业部门能耗： 15.67亿吨标煤		
工业总能耗：24.64亿吨标煤		

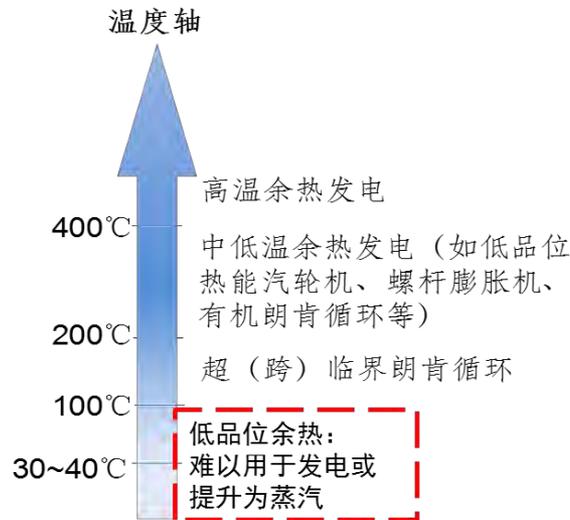
余热利用对供热系统的要求

- 电厂余热、工业余热主要是低品位热量，需要低回水温度来实现高效回收
- 余热热源一般容量大、远离负荷中心，而且地区间的热源与供需求分布不平衡，需要发展长距离输热

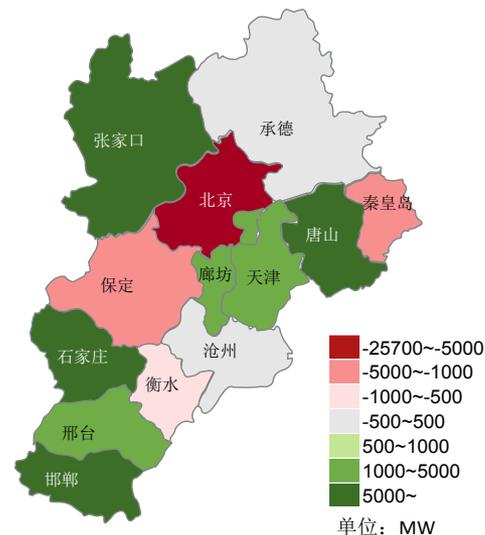
如京津冀地区整体热源充足，但是

- 局部紧缺：北京、保定、秦皇岛
 - 局部富余：唐山、邯郸、张家口
- 低回水温度是核心
 - 是提高热源回收效率的共性需求
 - 是降低输送成本、提高输送能力的前提

工业余热梯级利用示意图



京津冀地区未来供热缺口分布预测



四、新区能源系统技术路线——热



城市热网的新模式

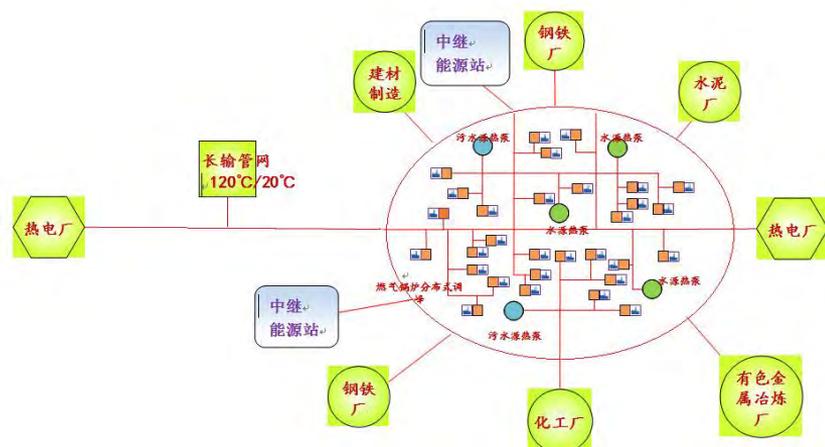
➤ 主要特征

- 低品位电厂余热和工业余热为基础热源
- 热、电、气协同运行
- 低品位热源利用的关键——低温供热
- 热网呈现长距离发展趋势

➤ 很多城市的热网已经呈现上述发展趋势，建设长距离输送管道、回收周边地区的电厂余热或工业余热

- 包括北京通州、山西太原、宁夏银川、山东济南等等

未来城市热网新模式



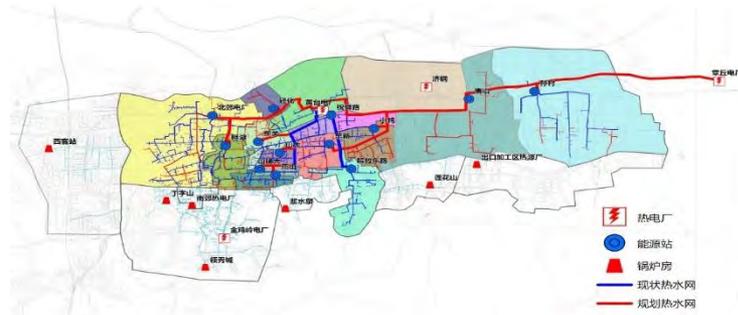
北京通州热网



山西太原热网



山东济南热网



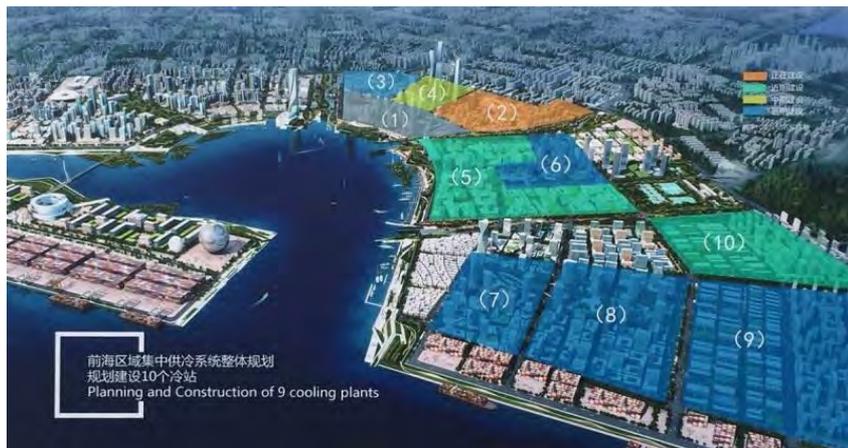
热力公司缺乏降低回水温度的动力

- 目前没有任何一个系统能够把回水温度降到40°C以下，多个热电联产节能改造项目不能达到预期效果，导致投资无效
- 根本原因在于热价计价机制： $Q = \text{流量} \times \text{比热} \times (T_{\text{供水}} - T_{\text{回水}})$
 - 降低回水温度只能依靠热力公司的努力，需要投入设备和人力
 - 但是，热力公司无法从低回水温度中获得收益
 - 因此某些项目即使有条件、有设备，也不努力降温，维持高回水温度运行
- 现有的热价计价机制忽略了热量的品位差异，而如果按照加热过程逐级计算热量又使得热价定价变得十分复杂
- 因此，建议热价计价机制改为： $Q = \text{流量} \times \text{比热} \times (T_{\text{供水}} - 40^\circ\text{C})$
 - 相当于热源厂和热力公司之间建立了回水温度的合约
 - ✓ 高于40°C，热网公司受罚
 - ✓ 低于40°C，热网公司得到降低
 - 对多个案例进行试算，该方式可以使热网、热源双方的经济利益都得到保证
 - 40°C作为合约值，可以由热源厂和热力公司议定

南方区域供冷有疯狂发展的态势

- 长期以来，我国城市传统的供冷模式以分体式空调和小规模的集中供冷（一楼一冷站）方式为主
- 2003年，广州大学城作为国内首个大规模区域集中供冷项目建成
- 区域供冷项目越来越多、规模越来越大
- 很多地方政府把区域供冷归为节能减排重点示范项目，大力支持甚至给予补贴

深圳前海服务业合作区区域集中供冷项目



珠海横琴新区冷热电多联供项目



四、新区能源系统技术路线——冷



目前没有一个区域供冷系统的实际效果经济、节能

- 分体空调的能效比是3，一楼一冷站的集中供冷系统能效比在4以上
- 从能效角度，区域供冷实际效果普遍低于传统方式，部分做得好的可以持平
- 从经济角度，区域供冷的初投资和供冷成本远高于传统方式

项目	占地面积 (公顷)	区域供 冷面积 (万m ²)	区域供冷 部分容 积率	冷冻水总 管长 (km)	电价 (元/kWh)	冷价 (元/kWh)	
C-1 (校园)	1800	500	0.28	120	0.61	0.97	0.61
					0.61	0.78	0.78
					1.02	1.09	0.94
C-2 (商建)	140	124.4	0.89	10	0.847	1.32	0.64
C-3 (商建)	51.4	40.5	0.79	5	0.623	0.88	0.71
晴海Triton广场	61	43.5	7.1		COP= -- / 3.13		
新宿副都心	243	222.3	9.1	4	COP = 2.13 / 2.21		

四、新区能源系统技术路线——冷

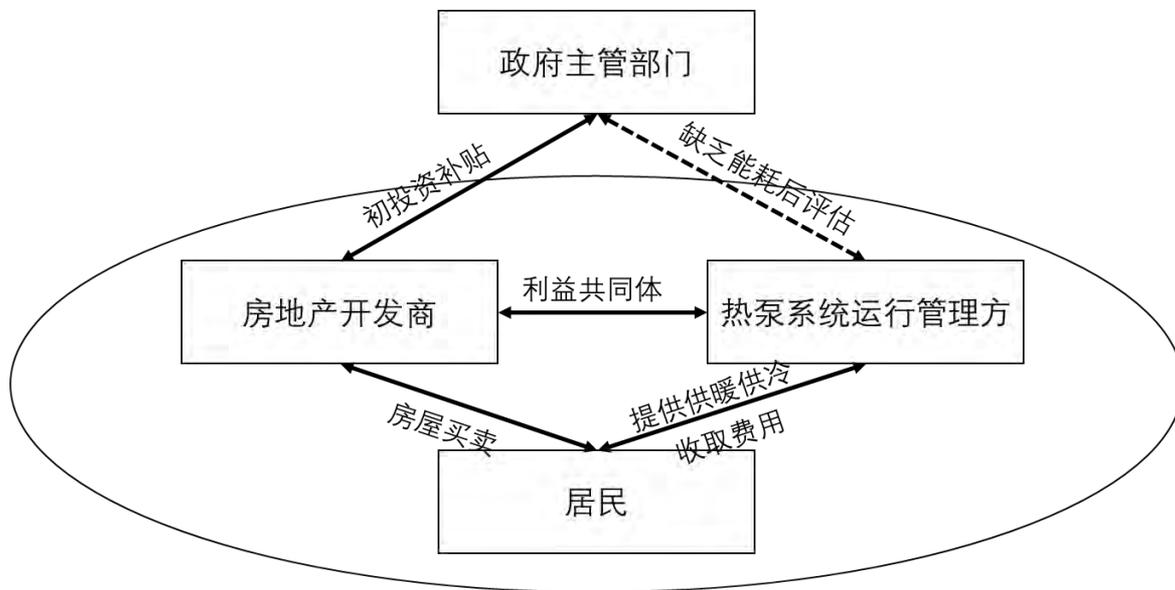


为什么区域供热节能而区域供冷不节能？

	区域供热	区域供冷
负荷特性	由室外气温决定， 负荷平稳 ，适合集中供应	由人员、设备、光照决定， 间歇性 ，集中供应反而增加用能量
输配流量	供回水温度130—60℃ 温差70℃，流量小	供回水温度5—15℃， 温差10℃ ， 同负荷下流量是供热的7倍！
水泵作用	水泵耗电加热提高水温 正效应	水泵耗电加热提高水温 负效应
冷热源设备	大型燃煤锅炉 效率高 排污控制容易	大型制冷机效率 没有变化
廉价冷热源	可以充分利用电厂排热 和工业废热	难以获得廉价天然冷源

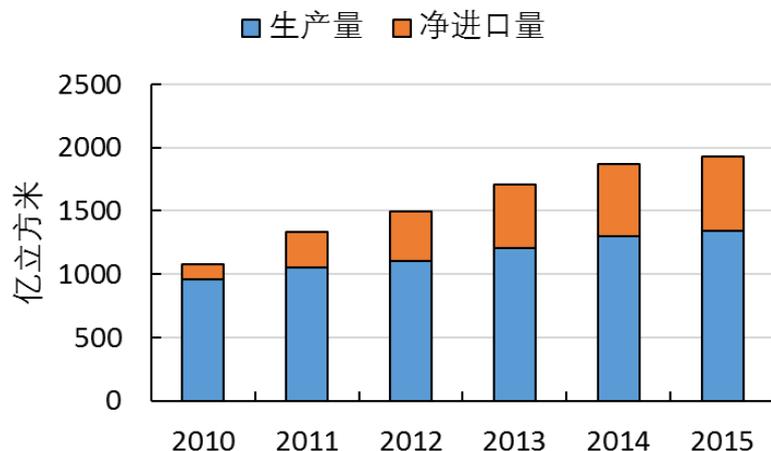
为什么推行不节能的项目？

- 政府追求“可再生能源用量”或“节能量”，而且只审批方案，缺乏能耗后评估
- 房地产开发商获得初投资补贴，并通过宣传能源系统获得更多的售房收入
- 系统运行管理方通过垄断经营获得稳定的现金流
- 居民并不清楚系统是否节能，承担系统的所有损失，是其中的弱势群体



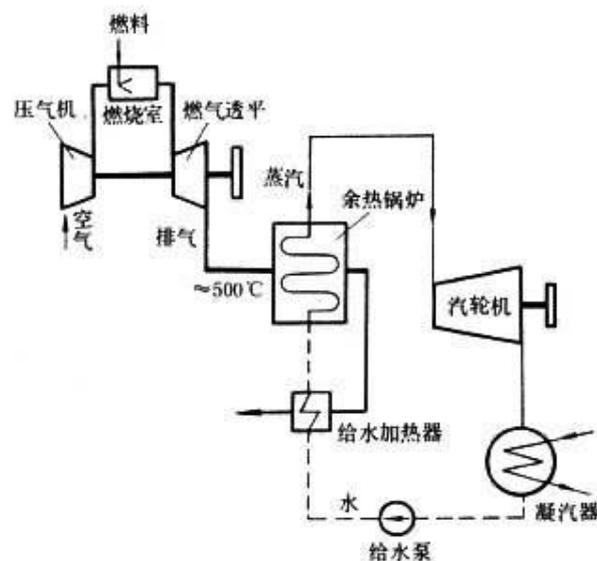
对天然气能源的正确认识

- 天然气也是化石能源，只是排放比燃煤少一些，并不是完全干净的“清洁能源”
 - 燃烧产生相同热量，天然气二氧化碳排放量是燃煤的60%，氮氧化物是70%
- 我国是富煤少气的国家，天然气大量依赖进口
 - 2015年我国天然气占一次能源消费总量仅5.9%，进口天然气比例已占30%
 - 如果未来天然气占比达15%，进口天然气接近5000亿立方米，相当于当前国际天然气交易总量的一半！
- 天然气不是简单作为燃煤的替代能源，而是宝贵资源、战略资源



如何用好有限的天然气资源

- 天然气一般不需要尾气处理，适合分散使用
 - 城乡居民炊事
 - 取缔农村散煤燃烧
 - 城市集中供热管网不可及的末端用户
- 天然气发电机组可以迅速起停和大幅度调节，适合电力调峰
 - 天然气调峰电厂



天然气不应该用于热电联产

➤ 政策鼓励分布式天然气热电联产

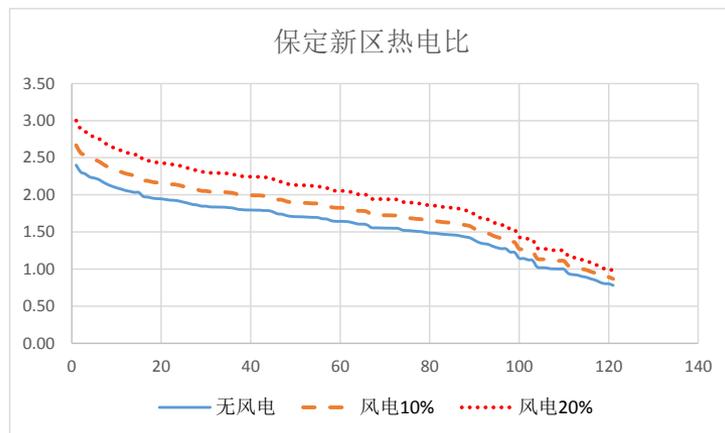
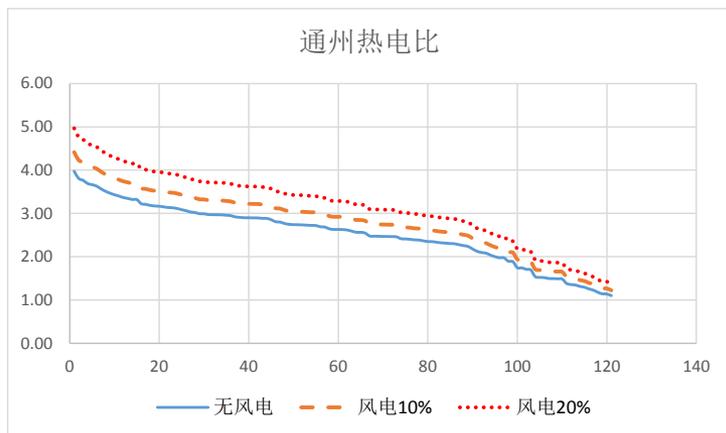
- 《分布式发电管理暂行办法》提到“分布式发电以自发自用为主，多余电量上网，电网调剂余缺”

➤ 天然气热电联产丧失了电力调峰能力

- 天然气热电联产往往采用“以热定电”方式运行，我国城市普遍面临热源紧缺问题，为了保证供热，天然气电厂就无法进行电力调峰

➤ 天然气热电联产恶化了热电比

- 燃煤热电联产的热电比在1.5~2之间，而天然气的不到0.8，我国城市需求侧热电比普遍偏大，用天然气热电联产替代燃煤热电联产进一步恶化了城市热电比矛盾





总结

➤ 新区电力系统发展模式

- 根据电源类型和负荷特征的差异，差异化发展我国城市电力的调峰模式
- 东部城市的调峰是重点，应该根据消费模式的差异发展合适的调峰技术

➤ 新区供热系统发展模式

- 电厂余热和工业余热是未来城市集中供热的主力热源
- 降低回水温度是未来城市热网低碳发展的关键
- “按热计价”的热价体系不利于推动降低回水温度，建议改成“按温计价”

➤ 新区供冷系统发展模式

- 区域供冷系统有疯狂发展的态势，但至今没有一个项目实际效果是节能、经济的
- 目前的补贴政策不利于实现真正节能
- 政府应对节能技术严格监管，开发商和运行方要对系统低效运行造成的损失负责

➤ 新区天然气系统发展模式

- 天然气是宝贵资源，应把有限的资源用在散煤替代、电力调峰等迫切需求的方面
- 不应该把天然气大量用于热电联产和分布式多联供系统，因为这样不仅丧失了调峰能力，而且还会恶化热电比矛盾，并不能提高系统能效



清华大学

Tsinghua University

谢谢！

夏建军 (xiajianjun@tsinghua.edu.cn)

清华大学建筑节能研究中心

2018年6月